

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. MODALITÀ SVOLGIMENTO TRATTAMENTO A CALCE	3
2.1 GENERALITÀ.....	3
2.2 MODALITÀ OPERATIVE.....	4
3. PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DURANTE IL TRATTAMENTO A CALCE.....	7
3.1 MISURE DI MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	7
3.1.1 Preparazione del piano di posa.....	9
3.1.2 Stesa della calce	10
3.1.3 Prima fresatura di miscelamento terra-calce	11
3.1.4 Seconda e terza fresatura per riduzione granulometrica.....	12
3.1.5 Rullatura e compattazione	13
3.2 RILIEVI ANEMOMETRICI.....	14

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce integrazione rispetto al punto n. 3 del parere della Regione Emilia Romagna n. PG.599213 del 12/09/2023, avente ad oggetto *“Procedimento Unico ai sensi dell'art.53 della LR 24/2017, finalizzato alla localizzazione dell'opera con contestuale adeguamento della Tavola dei Vincoli, all'apposizione del vincolo preordinato all'esproprio, all'approvazione del progetto definitivo e dichiarazione di pubblica utilità dell'opera “SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA - LINEA VERDE” presentato dal Comune di Bologna localizzato nel comune di Bologna (BO) - Richiesta integrazioni”*.

In particolare al punto 3 è riportato quanto segue:

“nella relazione relativa alla gestione dei materiali denominata “Relazione Tecnica Piano di gestione dei materiali - tav. B381C-D-X00-AMB-GET-RT-01-A” al par. 5.2, fra le operazioni di normale pratica industriale che potranno essere impiegate sui materiali di risulta degli scavi, è compresa anche la stabilizzazione a calce o altra forma idoneamente sperimentata per conferire ai materiali da scavo le caratteristiche geotecniche necessarie per il loro riutilizzo: fornire chiarimenti sul luogo di svolgimento e sulle modalità d'uso del metodo di trattamento a calce dei terreni negli interventi oggetto del presente procedimento. Inoltre, in dettaglio, per la matrice atmosfera, specificare le procedure e gli accorgimenti che il proponente intende attuare al fine di scongiurare la dispersione di calce in atmosfera. Si chiede di fare riferimento alle linee guida SNPA o alla Guida tecnica edita dal Ministero dei trasporti francese “Annexe 5 - Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques””

2. MODALITÀ SVOLGIMENTO TRATTAMENTO A CALCE

2.1 GENERALITÀ

Il trattamento a calce di una terra consiste nella miscelazione della stessa con calce e con acqua in quantità tali da modificare attraverso reazioni chimico-fisiche le sue caratteristiche di lavorabilità e di resistenza meccanica in opera.

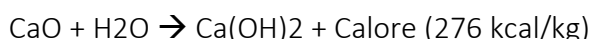
La risposta dei terreni al trattamento dipende essenzialmente dalla quantità e natura dei minerali argillosi e della silice amorfa in essi contenuta. Dipende, altresì, dalla quantità di calce aggiunta e dalle modalità di lavorazione della miscela.

La calce aerea o calce viva (CaO) si ottiene per decomposizione termica ad alta temperatura del carbonato di calcio naturale; questa forma primaria della calce è detta anche calce viva e il suo nome chimico è ossido di calcio.



(carbonato di calcio) (calce viva) (anidride carbonica)

L'ossido di calcio può essere trasformato facilmente in idrossido di calcio: Ca(OH)_2 , per aggiunta di una opportuna quantità di acqua; il nome tecnico di questa seconda forma di calce è calce idrata o calce spenta.



(calce viva) (acqua) (calce idrata)

I principali aspetti positivi legati al trattamento a calce delle terre sono:

- incremento della capacità portante della terra sia a breve sia a lungo termine sotto le azioni cicliche veicolari anche in presenza di acqua;
- aumento del modulo elastico dell'eventuale base granulare sovrastante lo strato stabilizzato;

- la sostanziale riduzione delle deflessioni in fase di esercizio del piano viabile o rotabile sovrastante sottofondazioni o fondazioni stabilizzate.

2.2 MODALITÀ OPERATIVE

Per le opere in progetto, il trattamento a calce si renderà necessario per la realizzazione del nuovo armamento tranviario: esso, infatti, costituito nella sua totalità da una soletta di cls debolmente armato e dalla componentistica “tranviaria” (rotaie, profili in gomma), avrà uno spessore complessivo di ca. 60 cm.

Condizione necessaria per un corretto funzionamento della nuova struttura è che il modulo elastico “E” del terreno su cui esso poggia non dovrà avere un valore inferiore a 50Mpa.

Qualora dalle prove che verranno eseguite sul campo prima della realizzazione delle opere, a conferma di quanto ipotizzato nel presente progetto definitivo, non si dovesse riscontrare un valore di “E” pari a quanto sopra riportato, si renderà necessario un trattamento del terreno di posa per uno spessore necessario a raggiungere i 50 Mpa necessari.

In genere il consolidamento del terreno viene realizzato con un “trattamento a calce”, per uno strato che per tipologie di armamento tranviario analoghe a quello previsto per la linea Verde, presenta uno spessore pari a ca. 30 cm.

Le operazioni di trattamento a calce saranno eseguite secondo le seguenti modalità operative:

- a) posa di uno strato omogeneo di 30 cm di spessore di materiale terrigeno (se necessario). Lo spessore dello strato dipende dalla capacità/potenza della macchina miscelatrice (pulvimixer). Generalmente lo spessore massimo lavorabile dalla macchina è pari a 30 cm, ma può essere valutato di volta in volta l’aumento di tale spessore in funzione delle caratteristiche del terreno e delle macchine miscelatrici impiegate;
- b) spandimento della calce effettuato con macchine operatrici semoventi/a traino, che assicurano un dosaggio omogeneo su tutta la superficie interessata; tale lavorazione sarà svolta in un’unica operazione. In questa fase viene stesa la quantità di calce necessaria alla miscelazione del terreno, definita sulla base di prove geotecniche svolte preliminarmente

alla lavorazione, al fine di definire la % in peso che raggiunge l'ottimo in termini di caratteristiche meccaniche del terreno trattato. Tale percentuale è compresa tipicamente in un intervallo variabile tra l'1,5% ed il 4,0% in peso del terreno da trattare, per cui variabile indicativamente tra i 25 ed i 65 kg/mc (considerando come riferimento un peso del terreno pari a 1.600 kg/mc). Il quantitativo di calce steso, considerando uno spessore dello strato da trattare di 0,30 m risulta quindi compreso in un range variabile tra 7 e 20 kg/mq. La superficie trattata in questa fase dipende dalla capacità di carico della macchina spandi-calce e dal quantitativo di calce stesa per unità di superficie. Generalmente la macchina spandi-calce è in grado di immagazzinare circa 80 q di calce, per cui la stesa interessa una superficie variabile tra i 400 ed i 1000 mq circa. La velocità di avanzamento della macchina spandi-calce è generalmente compresa tra 3 e 4 km/h, per cui la fase di stesa della calce non supera mai i 15 minuti complessivi;

- c) primo passaggio con macchina miscelatrice (pulvimixer), tale da permettere il miscelamento terra-calce per tutto lo spessore dello strato in lavorazione. La velocità di avanzamento della macchina dipende dallo spessore del terreno da trattare, si può comunque stimare un tempo complessivo della singola fase di miscelazione compreso tra 10 e 30 minuti;
- d) secondo passaggio con macchina miscelatrice (pulvimixer), avente l'obiettivo di riduzione granulometrica del materiale lavorato per tutto lo spessore di lavorazione;
- e) terzo passaggio con macchina miscelatrice (pulvimixer), per realizzare un'ulteriore riduzione granulometrica del materiale per tutto lo spessore di lavorazione. La seconda e la terza passata (punti d) e e)) consentono di raggiungere un'ottimale miscelazione del materiale terroso con la calce, aumentando quindi la superficie di contatto dei due materiali e l'efficacia della reazione di stabilizzazione;
- f) rullatura e compattazione con l'ausilio di rullo "a piede di montone" e/o rullo semplice per la formazione di uno strato omogeneo.

Quanto sopra descritto corrisponde alle lavorazioni in condizioni metereologiche ordinarie (velocità del vento sotto il valore limite, assenza di precipitazioni). Nel seguito della presente procedura vengono descritte le misure da attuarsi, nelle varie fasi realizzative, qualora le condizioni metereologiche superino le soglie di allarme, così come definite nel presente documento.

3. PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DURANTE IL TRATTAMENTO A CALCE

Nel presente paragrafo sono descritte le modalità di protezione dell'ambiente che verranno utilizzate durante la realizzazione del trattamento a calce delle terre.

Fondamentalmente, le regole esposte di seguito hanno lo scopo di salvaguardare la qualità dell'aria nelle zone adiacenti ai cantieri in cui si eseguirà il trattamento a calce.

Per quanto concerne i potenziali impatti che il trattamento a calce può provocare sulla qualità dell'aria, si segnala che per sua stessa natura la calce può, in presenza di vento, raggiungere le zone adiacenti ai cantieri.

Anche se in generale gli impatti ambientali causati dalle polveri di calce sono tollerabili, è buona norma predisporre una serie di misure che riducano il verificarsi di tale situazione.

3.1 MISURE DI MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Si fa riferimento al testo "*Traitement des sol a la chaux et/ou aux liants hydrauliques*" edito dal Ministero dei Trasporti Francese (nel seguito denominato "Guida tecnica") e riconosciuto come il miglior testo europeo di riferimento per le operazioni di stabilizzazione delle terre a calce e per le regole di protezione ambientale.

Seguendo la metodologia indicata all'interno del suddetto elaborato, il tracciato tramviario in esame può essere suddiviso in zone di cantiere:

- **ordinarie:** si considerano ordinari i cantieri ubicati a una distanza superiore a 100 m da edifici residenziali, centri industriali con presenza permanente di persone, strade di media e grande importanza, zona di orti, giardini e frutteti nei periodi di fioritura, zone di pascolo con presenza di mandrie, di parcheggi o, più in generale, zone con manufatti sensibili agli attacchi di sostanze alcaline.
- **sensibili:** si considerano cantieri sensibili tutti i cantieri per i quali non è soddisfatta almeno una delle condizioni precedenti. Il livello di sensibilità aumenta nel caso in cui non vengano rispettate più condizioni precedenti.

Nello specifico del progetto in questione, dato il contesto in cui si colloca l'opera, in via cautelativa, si è optato di considerare tutte le zone di cantiere come sensibili. Per tutti i cantieri verranno quindi adottate le misure più severe previste dalla Guida Tecnica, indipendentemente dalla posizione e natura dei ricettori presenti nell'area.

Nei paragrafi seguenti vengono espone le modalità realizzative delle singole fasi (così come descritte al capitolo precedente), in funzione delle diverse condizioni atmosferiche (velocità del vento e presenza di pioggia).

In particolare, sono descritte le modalità operative che possono essere riscontrate nel caso di cantieri definiti sensibili.

Con specifico riferimento alle condizioni anemologiche al verificarsi delle quali occorre interrompere le lavorazioni potenzialmente impattanti, è stata fissata una soglia che tiene conto del verificarsi di raffiche di vento superiori a 5 m/s ed in particolare della persistenza di tale situazione.

Dato un periodo osservazionale di 15' ed una frequenza di campionamento dei dati anemologici di almeno 1 valore ogni 10 s, la sospensione della lavorazione potenzialmente impattante avviene ogni qualvolta il valore medio su 15' della velocità del vento risulti superiore a 5 m/s qualora la misura del vento sia effettuata ad una quota pari o superiore a 5 m dal suolo ed inferiore a 7 m dal suolo; nel caso la quota di misura sia compresa tra 7 m e 10 m dal suolo il valore di soglia da adottare è pari a 6 m/s (condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento).

La ripresa della lavorazione interrotta potrà avvenire al ripristino delle condizioni anemologiche ordinarie, vale a dire a seguito di un intervallo osservazionale pari a 15' nel quale si verifichi un valore della media della velocità del vento nuovamente inferiore alla soglia sopra indicata (5 m/s oppure a 6 m/s, in relazione alla quota della misura del vento).

Le eventuali sospensioni delle lavorazioni determinate dalle avverse condizioni meteorologiche potranno essere registrate in opportuna documentazione di cantiere.

3.1.1 PREPARAZIONE DEL PIANO DI POSA

Condizioni anemologiche ordinarie

La fase di preparazione del terreno naturale consiste nelle lavorazioni seguenti:

- allontanamento di tutti gli inerti con dimensioni maggiori di 40 cm dal terreno soggetto a trattamento (lavorazione eseguita per mezzo di ripper), successivamente frantumazione e sminuzzamento delle zolle, fino alla riduzione dei grumi del terreno limo-argilloso a dimensioni massime di 40 cm (lavorazione eseguita per mezzo di fresa);
- si procede quindi, se necessario, alla modellazione di uno strato omogeneo di terreno naturale precedentemente preparato per essere sottoposto a stabilizzazione. Quest'ultima lavorazione dovrà essere preceduta dalla preparazione della superficie dello strato precedente attraverso erpicatura per garantire l'ammorsamento necessario tra strati successivi. Lo spessore massimo steso dovrà risultare non superiore a quello finale aumentato del 15-20%, comunque non superiore a 50 cm.
- al termine dell'operazione si deve verificare l'omogeneità e la corrispondenza dell'umidità del terreno naturale alla miscela ottima definita in fase di indagine. Nel caso in cui si verifichi un eccesso di umidità risulta opportuno erpicare e arieggiare il materiale per favorirne l'evaporazione; in caso contrario si provvede all'umidificazione del terreno attraverso l'aspersione di acqua nebulizzata per mezzo di autobotte dotata di barra spruzzatrice.

Condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento

Tali condizioni non dettano variazioni o interruzioni della lavorazione in oggetto.

Condizioni di pioggia

In caso di pioggia debole (1-2 mm/h) le lavorazioni possono essere continuate in virtù del fatto che la stessa pioggia riduce la necessità di utilizzo di acqua durante la compattazione e l'intensità della stessa non risulta essere determinante per effetti erosivi o di dilavamento.

In caso di pioggia moderata (3-8 mm/h) o forte (oltre 10 mm/h) le lavorazioni in oggetto vengono sospese, e quindi riprese solo dopo l'evento meteorico ed il ristabilirsi nelle condizioni ottimali di umidità del terreno.

3.1.2 STESA DELLA CALCE

Condizioni anemologiche ordinarie

La calce (recapitata in sito per mezzo di autobotte) viene sparsa sul terreno naturale tramite spandi-calce a controllo volumetrico o gravimetrico, capace di assicurarne un dosaggio costante in accordo alla miscela progettata in fase di indagine (solitamente prossima al 3% in peso del terreno da trattare) e sulla base dell'umidità del terreno verificata in fase esecutiva.

Appositi profili in gomma, disposti sui quattro lati dell'apertura da cui la calce viene depositata, consentono l'accompagnamento della stessa a contatto con il terreno scongiurando fenomeni di spolvero.

Terminata la stesa della calce si verifica visivamente l'omogeneità del processo provvedendo a trattare eventuali zone non coperte. Nel corso della giornata lavorativa non vengono mai stese quantità di calce maggiori a quelle lavorabili il giorno stesso, si evitano così sia asportazioni e spolvero di calce a causa dell'aria (benché entro i limiti di velocità prescritti), sia indesiderati fenomeni di carbonatazione della stessa (reazione a contatto con l'anidride carbonica atmosferica) che ne potrebbero inficiare le capacità relative.

Condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento

Qualora durante le operazioni di stesa di calce si registrino tali condizioni, in considerazione del conservativo limite anemologico e della limitata durata complessiva della fase (come indicato sopra, non superiore ai 15 minuti) viene ultimata la stesa procedendo quindi all'immediata rapida miscelazione tramite fresa (Pulvimixer) dei primi 10 cm di terreno al fine di evitare eventuale spolvero.

La fresatura di soli 10 cm consente una miscelazione più rapida che scongiuri in tempi brevi fenomeni di trasporto aereo della calce stesa, limitando quindi la durata della fase di miscelazione (ed il tempo di latenza della calce stesa) entro i 15 minuti circa.

Le operazioni di stesa della calce potranno riprendere solo al ripristino delle condizioni ordinarie. Nel caso in cui le operazioni di spandimento vengano sospese, si passerà direttamente alle operazioni di fresatura, secondo le procedure descritte di seguito.

Condizioni di pioggia

In caso di pioggia debole (1-2 mm/h) le lavorazioni possono essere continuate in virtù del fatto che la stessa pioggia riduce la necessità di utilizzo di acqua durante la compattazione e l'intensità della stessa non risulta essere determinante per effetti erosivi o di dilavamento.

L'attività di stesa della calce non viene invece eseguita in caso di pioggia moderata o forte, al fine di evitare fenomeni di inibizione e dilavamento del materiale.

Nel caso sopraggiunga pioggia improvvisa (di intensità da moderata a forte) si procede alla immediata sospensione dei lavori di stesa, alla rapida miscelazione tramite fresa (Pulvimixer) dei primi 10 cm di terreno non ancora miscelato, nonché alla rapida compattazione tramite rullo di tutto il misto terra-calce, si garantisce così l'impermeabilità dello strato evitando il dilavamento delle aree interessate dalle lavorazioni.

3.1.3 PRIMA FRESATURA DI MISCELAMENTO TERRA-CALCE

Condizioni anemologiche ordinarie

Al fine di scongiurare dispersione di calce in atmosfera, è prevista la simultaneità delle operazioni di spandimento e successiva miscelazione con il terreno, evitando di superare i 15 minuti di latenza.

Il terreno naturale cosparso con calce viene quindi trattato con un primo passaggio di fresa (Pulvimixer), consentendo una miscelazione omogenea tra le due parti e dando inizio alle reazioni di stabilizzazione del terreno. Al termine della prima fresatura si procede a rimuovere

eventuali accumuli laterali di misto terra-calce (riccioli) tramite escavatore portandoli al centro dell'area lavorandoli nuovamente.

Si precisa che il rotore è dotato di carter o di una campana in grado di evitare l'innalzamento e lo spolvero di materiale durante tutta l'attività in questione.

Condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento

Come già descritto al paragrafo relativo alla stesa della calce, in tali condizioni, a lavorazioni iniziate, si procede alla immediata rapida miscelazione tramite fresa (Pulvimixer) dei primi 10 cm di terreno con calce non ancora miscelata, al fine di evitare eventuale spolvero.

La fresatura di soli 10 cm consente una miscelazione più rapida che scongiuri in tempi brevi fenomeni di trasporto aereo della calce stesa, limitando quindi la durata della fase di miscelazione (ed il tempo di latenza della calce stesa) entro i 15 minuti circa.

Terminata la fresatura di tutta la calce stesa (messa in sicurezza), si procede ad un ulteriore passaggio con pulvimixer, al fine di raggiungere l'intero spessore di miscelazione previsto.

Condizioni di pioggia

In caso di pioggia debole (1-2 mm/h) le lavorazioni possono essere continuate in virtù del fatto che la stessa pioggia riduce la necessità di utilizzo di acqua durante la compattazione e l'intensità della stessa non risulta essere determinante per effetti erosivi o di dilavamento.

L'attività di prima fresatura non viene invece eseguita in condizioni di pioggia moderata o forte, al fine di evitare fenomeni di inibizione e dilavamento del materiale. Nel caso sopraggiunga pioggia improvvisa (di intensità da moderata a forte) si procede alla rapida miscelazione tramite fresa (Pulvimixer) dei primi 10 cm di terreno non ancora miscelato, nonché alla rapida compattazione tramite rullo di tutto il misto terra-calce.

3.1.4 SECONDA E TERZA FRESATURA PER RIDUZIONE GRANULOMETRICA

Condizioni anemologiche ordinarie

Successivamente alla prima fresatura la miscelazione con il terreno deve procedere fino a ridurre le zolle limo-argillose a dimensioni tali che tutta la terra passi interamente attraverso i setacci da 25 mm e che almeno il 60% di essa abbia dimensioni minori di 4,75 mm. A tale scopo si eseguono due ulteriori passaggi di fresa (Pulvimixer) sul terreno da stabilizzare.

Condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento

Le attività di seconda e terza fresatura non vengono eseguite in tali condizioni di vento.

Condizioni di pioggia

In caso di pioggia debole (1-2 mm/h) le lavorazioni possono essere continuate in virtù del fatto che la stessa pioggia riduce la necessità di utilizzo di acqua durante la compattazione e l'intensità della stessa non risulta essere determinante per effetti erosivi o di dilavamento.

L'attività di fresatura per riduzione granulometrica non viene invece eseguita nel caso di condizioni di pioggia moderata o forte, al fine di evitare fenomeni di inibizione e dilavamento di del materiale. Nel caso sopraggiunga pioggia improvvisa (di intensità da moderata a forte) si procede alla rapida compattazione tramite rullo di tutto il misto terra-calce precedentemente miscelato.

3.1.5 RULLATURA E COMPATTAZIONE

Condizioni anemologiche ordinarie

Al termine delle lavorazioni suddette, si procede alla profilatura dello strato disposto tramite ruspa o graeder.

Successivamente, lo strato in questione è soggetto a compattazione e costipamento tramite rulli con numero di passaggi dettato dalle specifiche progettuali richieste.

Condizioni anemologiche caratterizzate da vento superiore alla soglia di intervento

Tali condizioni anemologiche non dettano variazioni o interruzioni della lavorazione in oggetto.

Condizioni di pioggia

Condizioni di pioggia debole, moderata o forte non dettano variazioni o interruzioni della lavorazione in oggetto.

3.2 RILIEVI ANEMOMETRICI

Ai fini del controllo delle condizioni anemologiche locali si prevede che i cantieri siano dotati di un apposito sistema di rilevazione composto da un anemometro e relativo sistema elettronico di funzionamento.

Il sistema dovrà essere configurato per attivare gli allarmi per eccesso di vento presso i singoli cantieri in attività.

Per non duplicare eccessivamente i rilievi anemometrici sarà possibile installare un anemometro presso i soli cantieri attivi in cui sono previste le attività di trattamento più estese (in termini di quantità e di durata temporale).

Sulla base del cronoprogramma e dei livelli di attività dei cantieri potranno essere individuate dei “cluster” di più cantieri, posti in ambiti omogenei sotto il profilo delle condizioni anemologiche, che faranno riferimento a un solo anemometro.

Al superamento della soglia di allarme un opportuno sistema di segnalazione dovrà essere attivato presso tutti i cantieri del “cluster” di riferimento dell’anemometro in cui è stato registrato il superamento.

Il campionamento dei dati anemologici dovrà avvenire con una frequenza non inferiore ad 1 dato ogni 10 s, ovvero almeno 6 campioni al minuto. I dati anemometrici saranno archiviati in forma di valore medio relativo ad un periodo di 15’ (pari a 900 s, in cui quindi dovranno essere raccolti almeno 90 campioni). I dati anemometrici archiviati saranno resi disponibili agli Enti di controllo.

Compatibilmente con le dimensioni e le caratteristiche dei cantieri mobili, gli anemometri dovranno essere posizionati nell’ambito o in prossimità delle aree di cantiere, su terreno possibilmente piano, senza ostacoli fissi di altezza superiore a 3 m in un intorno di almeno 20 m, al di fuori delle aree di lavorazione e di movimentazione dei mezzi di cantiere.

Gli anemometri dovranno essere installati su opportuni pali riposizionabili a quota non inferiore a 5 m e non superiore a 10 m, in prossimità del cantiere di attività e, compatibilmente con la peculiarità dei luoghi, facendo attenzione a che non vi siano ostacoli rilevanti (ovvero con dimensioni in pianta maggiori di 4 m x 4 m ed aventi altezza superiore alla quota di installazione degli anemometri) per un raggio di circa 50 m intorno.

Gli anemometri saranno ricollocati in base all'avanzamento dei lavori e all'eventuale interessamento di ambiti territoriali diversi.

Le caratteristiche, la posizione ed il funzionamento degli anemometri, comprese le modalità di attivazione dei segnali di allarme, saranno comunicati all'Ente di Controllo entro l'inizio dei lavori.